

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 20__ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) _____
(код та назва спеціальності)

на тему: Вихрострумний дефектоскоп для контролю клепаних з'єднань.

Виконав : студент IV курсу, групи

ПК-51

(шифр групи)

Нощенко Сергій Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник

Д. Т. Н., професор Куц Ю.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант

Графічний

(назва розділу)

ст.викл. Богдан Г.А

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант

Розробка ел. схеми

(назва розділу)

к.т.н., доцент Баженов В.Г.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент

_____ (підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки (програма професійного спрямування) – 6.051003
«Приладобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Протасов А.Г.

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Нощенко Сергій Петрович

1. Тема роботи «Вихрострумовий дефектоскоп для контролю клепаних з'єднань», керівник роботи Куц Ю.В. , д. т. н., професор, затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р. № 1384-с
2. Термін подання студентом роботи 10 травня 2019
3. Вихідні дані до роботи: клепане з'єднання, глибина залягання дефекта 0.5 мм, захисне непровідне покриття 0.2 мм, ;
4. Зміст пояснювальної записки

Вступ

1. Аналіз об'єкта контролю та постановка завдання дослідження
2. Загальні відомості про вихрострумовий вид неруйнівного контролю
3. Огляд структур всп та роботи всд

Висновок

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 6 креслеників.

1 – Схема електрична принципова

2 – Схема електрична структурна

3 – Система вихрострумowego перетворювача

4 – Вихрострумний перетворювач

5 – Кришка

6 – Корпус

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання	завдання
Графічний	ст. викл. Богдан Г.А.		
Електричний	к.т.н., доцент Баженов В.Г		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№	Назва етапів виконання	Термін виконання	Примітка
1	Формулювання завдання проекту	15.03.2019	
2	Проведення аналітичного огляду	10.04.2019	
3	Аналіз об'єкта контролю	25.04.2019	
4	Огляд структур всп	15.05.2019	
5	Розробка креслеників	12.06.2019	

Студент

Нощенко С.П

Керівник проекту

Куц Ю.В

Анотація

Ключові слова: Викрострумний неруйнівний контроль, клепане з'єднання, ВСП обертаючого типу.

В дипломному проєкті було проведено дослідження викрострумного НК та пошук дефектів клепаних з'єднань.

У першому розділі було наведено аналіз об'єкта контролю та постановка завдання дослідження в якому були розглянуті: види клепаних з'єднань, види заклепок, застосування заклепок.

У другому розділі розглянуто загальні відомості про вихрострумний вид неруйнівного контролю

У третьому розділі проведено огляд структур ВСП та роботи ВСД, розрахунок накладного трансформаторного ВСП, опис та розрахунок основних елементів ВСД

Об'єкт дослідження - Клепане з'єднання

Наукова новизна – вихрострумний перетворювач обертуючого типу.

Графічна частина складається з шести креслень. Схема електрична принципова – А1, структурна схема – А1, складальний кресленик – А1, складальний кресленик – А2, деталювання: кришка – А3, корпус – А3.

Annotation

Key words: non-destructive vibration, non-destructive control, riveting, VSP of a rotating type.

In the diploma project, a research was carried out on microcurrent NK and the search for defects in riveting compounds.

In the first section was given an analysis of the object of control and the formulation of the problem of study in which were considered: types of riveted joints, types of rivets, the use of rivets.

The second section deals with general information about the vortex current type of non-destructive control

The third section reviews the structures of the WWW and the work of the VSD, the calculation of the overhead transformer GSP, the description and calculation of the main elements of the VSD

The object of the study is a cluttered connection

Scientific novelty - eddy-current converter of the abusive type.

The graphic part consists of six drawings. The circuit is electric principle - A1, the structural scheme - A1, assembly drawings - A1,

assembly screwdriver - A2, detailing: cover - A3, case - A3.

Зміст

Вступ	8
РОЗДІЛ 1.АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КОНТРОЛЮ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1 Види клепаних з'єднань	9
1.2 Види заклепок	10
1.3 Застосування заклепок.....	11
Висновки	17
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИХРОСТРУМОВИЙ ВИД НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ.	18
2.1 Області застосування вихрострумового контролю.....	20
2.2 Класифікація вихрострумових перетворювачів	21
2.3 Типи конструкцій ВСП.....	28
2.4 Об'єкти контролю	32
Висновок	34
РОЗДІЛ 3. ОГЛЯД СТРУКТУР ВСП ТА РОБОТИ ВСД.....	35
3.1 Види конструкції вихрострумового перетворювача контролю зони заклепок.	35
3.2 Аналіз годографів сигналів накладних ВСП.....	37
Висновок	41
3.3 Розрахунок накладного трансформаторного ВСП.....	41

					ПК 51.080000.000ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ноценко С.П			Вихрострумовий дифектоскоп клепаних з'єднань Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Куц Ю.В.						
Н. Контр.						ПБФ, ПК-51		
Затверд.		Куц Ю.В.						

3.4 Розроблення структурної схеми вихрострумового дефектоскопу ..	45
3.5 Опис та розрахунок основних елементів ВСД	46
Висновки	51
Список використаної літератури.....	52

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік умовних позначень:

НК – неруйнівний контроль;

ВСК – вихрострумовий контроль;

ВТП – вихрострумовий перетворювач;

ВСД – вихрострумовий дефектоскоп;

ОК – об'єкт контролю;

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

В основу принципу дії вихрострумowego дефектоскопа закладений вихрострумовий метод неруйнівного контролю. Під впливом змінного магнітного поля, яке формується збуджуючою котушкою ВСП в контрольованій області ОК наводяться вихрові струми. При наявності дефекта вихрові струми в районі тріщини формують магнітні поля розсіювання, які реєструються вимірною котушкою ВСП. Реєстрація зазначених параметрів дозволяє вимірювати товщину захисного покриття металу або глибину корозійного пошкодження, а також виявляти і визначати глибину тріщин незалежно від величини товщини захисного покриття обстежуваного ОК або глибини корозійного пошкодження, а також виявити ступінь неоднорідності лакофарбового покриття.

Особливість вихрострумowego контролю полягає у тому, що контроль можливо проводити без механічного контакту ВСП та об'єктом контролю. Їх взаємодія відбувається на відстанях, достатніх для вільного руху перетворювача відносно об'єкта (від часток міліметра до декількох міліметрів). Тому цими методами можна отримувати добрі результати контролю навіть за високих швидкостей відносного руху об'єктів.

Вихрострумовий контроль дозволяє виявляти як поверхневі, так і під поверхневі (залягають на глибині до 1...4 мм) дефекти.

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КОНТРОЛЮ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Досить часто складні конструкції складаються з менших вузлів утворюючі складнішу систему. Щоб це реалізувати деталі повинні з'єднуватися за певними критеріями безпеки, тому що слабкий ланцюг може зашкодити всій системі. Механічні з'єднання поділяються на нероз'ємні і роз'ємні. При нероз'ємному механічному з'єднанні майже неможливо роз'єднати дві ланки конструкції у випадку виявлення дефекту в одному з вузлів. Роз'ємні з'єднання мають можливість розбору системи без пошкоджень компонентів.

Одним із засобів роз'ємного кріплення є використання заклепок. Було б практично неможливо побудувати величезні споруди, такі як мости, хмарочоси, літаки, локомотиви та інші без залучення цих маленьких, але надійних інтегруючих механічних пристроїв, які називаються заклепками. Заклепки не тільки дозволяють цим структурам стати величезними, але й забезпечити еквівалентні сили і витривалість, щоб витримати багато видів різних механічних навантажень.

1.1 Види клепаних з'єднань

Розглянемо різні види клепаних з'єднань як потенційні об'єкти контролю (ОК). В першу чергу існують два основних типи клепаних з'єднань в залежності від того, як ці структури можуть бути з'єднані: внахлест і стикове з'єднання.[8]

Внахлест (рис 1.1): в цьому типі частини, що мають попередньо просвердлені отвори розташовані таким чином, що їх поверхні трохи перекривають один одного. Після цього заклепку проводять через отвір та розвальцьовують її.

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.1 З'єднання внахлест.

З'єднання в стик (рис 1.2) : в цьому з'єднанні два листи або елементи з'єднуються по краю до краю по одній прямій лінії. Фіксація проводиться з використанням зовнішньої накладки, яка прижимається, як зазначено вище, через паралельні просвердлені отвори. Стикове з'єднання може використовувати одну або декілька накладок.



Рис. 1.2 Стикове з'єднання.

Подвійне стикове з'єднання, використовується у тих місцях, де потрібна додаткова жорсткість і міцність, зазвичай вбудовуються дві кришки, які потім приклеюються з верхньої і нижньої поверхонь елементів. Цей тип з'єднань називається подвійним стиком.

1.2 Види заклепок

Різновидів заклепок існує не так багато, як може здатися на перший погляд:

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Проста заклепка загального призначення за ГОСТ 10299 80. Їх легко відрізати по грибовидній формі (так званою системою з замикаючою головкою). Для такої заклепки характерна висока міцність і стійкість за будь-яких навантажень;

- Заклепка витяжна, використовується для «зшивання» двох листів металу у випадках, коли доступ до з'єднувальних листів можливий тільки з однієї сторони. Параметри і опис заклепок визначаються ГОСТ 15973-2005;

- Найбільш технологічними прийнято вважати різьбові заклепки, вони більш зручні в роботі і дозволяють створювати розбірні з'єднання, DIN 7338.

Матеріали для заклепувального з'єднання повинні мати певну пластичність і в'язкість, тому в якості таких матеріалів зазвичай використовують мало вуглецеву сталь, мідь, алюмінієві деформуючі сплави.

1.3 Застосування заклепок

Вибір конкретних параметрів і різновиди кріплення визначається трьома основними критеріями:

1. Забезпечення необхідної міцності з'єднання, з урахуванням додаткових параметрів і вимог до шву.
2. Технологічними можливостями устаткування для роботи з конкретним видом заклепувального з'єднання.
3. Економічної доцільністю використання клепаного з'єднання.

Різьбові гайки-заклепки (рис 1.3). Спосіб з'єднання за допомогою різьбових заклепок сьогодні можна назвати найбільш універсальним. Основна ідея з'єднання полягає в ідеї фіксації тіла заклепки в отворі для заклепки. Сама різьбова конструкція являє собою порожню гільзу з внутрішньою різьбою (рис. 1.4).[7]

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

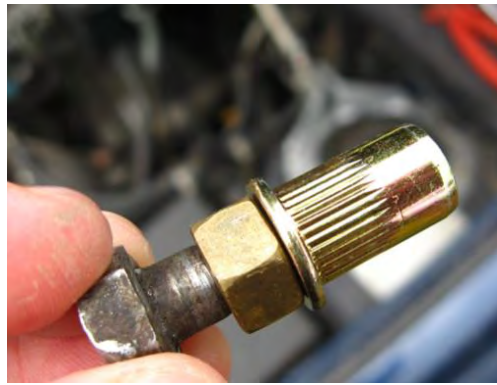


Рис. 1.3 Різьбова гайка-заклепка.

При виконанні з'єднання ця гільза вставляється в просвердлений отвір і вирівнюється таким чином, щоб з'єднувані частини щільно прилягали одна до одної. Після цього в отвір для гвинта всередину заготовки вкручується стрижень заклепника. Передня стінка гільзи фіксується опорною поверхнею інструменту, не даючи заклепці вийти з отвору. Щоб розклепати гільзу, стрижень заклепника переміщається з великим зусиллям в сторону опорної поверхні. Гільза при цьому мнеться і фіксується, тим самим створюючи міцне нерухоме з'єднання.



Рис. 1.4 Гільзи різьбової заклепки.

Стрижень заклепника вільно вивертається з тіла втулки (рис. 1.5). Найчастіше застосовуються заклепки алюмінієві, латунні або мідні. Використання останніх обмежене їх високою вартістю, тому вони встановлюються в тих випадках, коли потрібно забезпечити хороший електричний контакт між поверхнями.

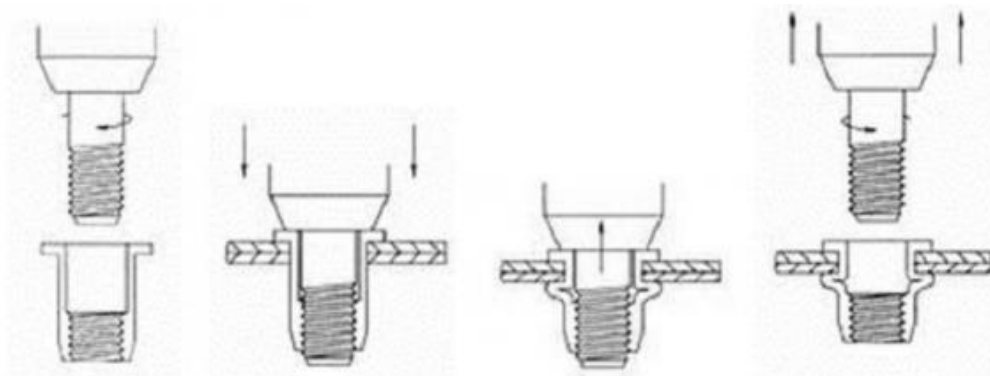


Рис. 1.5 Нарізне заклепувальне з'єднання.

До переваг нарізного заклепувального з'єднання відносять її «малотравматичність». При роботі стержня заклепника метали сполучаються не відчуваючи великих навантажень або деформацій. Різьбовою втулкою легко з'єднувати тонкостінний метал або профіль складної конфігурації (рис. 1.6). Таке кріплення широко використовується в збірці побутової техніки, в поєднанні окремих вузлів облицювання автомобілів, при виготовленні різного роду конструкцій з профнастилу.



Рис. 1.6 Різьбове клепане з'єднання тонкостінного металу.

Витяжні заклепки. Недоліком різьбових видів заклепки є їх висока вартість і відносно невелика швидкість виконання з'єднань. Тому для випадків, коли сполучаються листи металу, профілю потрібно їх з'єднувати в декількох

сотнях або тисячах точок. Для цього застосовують витяжні види заклепок (рис. 1.7).[7]



Рис. 1.7 Витяжна заклепка.

Це можуть бути сталеві, латунні металовироби, заклепки з алюмінію, сплавів алюмінію і кремнію. На відміну від різьбової, за витяжною схемою деформація гільзи здійснюється за допомогою стрижня з потовщенням на кінці, запресованого всередину тіла кріпильної втулки. Як і в попередньому випадку, щоб осадити тіло заклепки, її торець впирають в опорну поверхню заклепника, після вирівнювання центральний стрижень із зусиллям витягають на кілька міліметрів. В результаті стінки гільзи деформуються (рис. 1.8), утворюючи досить міцне нероз'ємне з'єднання. Хвостовик стрижня найчастіше обламується або обрізається по рівню зрізу гільзи.

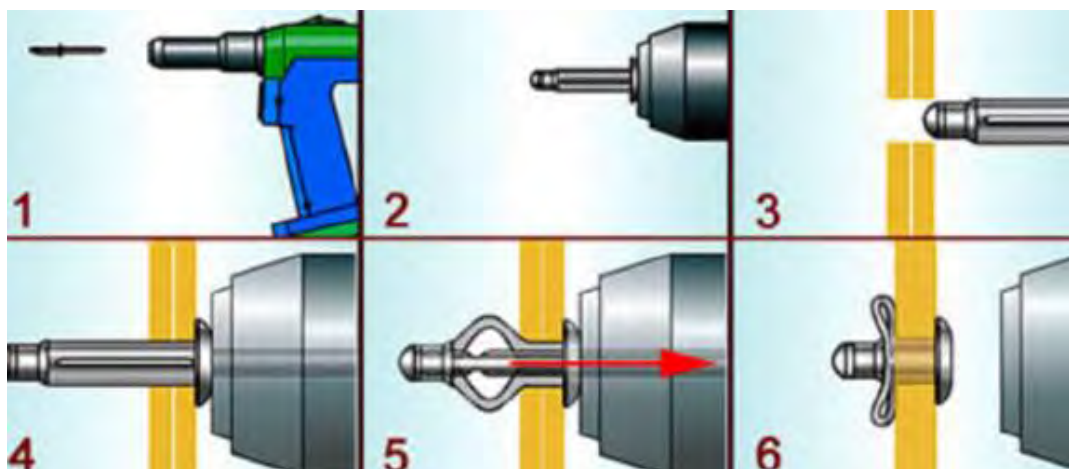


Рис. 1.8 Встановлення витяжної заклепки.

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Класична конструкція заклепки (рис. 1.9). Основним металовиробом для клепок листів в машинобудуванні вважаються заклепки сталеві, нормовані вимогами ще радянського ГОСТУ 10299 80. Вони найчастіше з'єднують високонавантажені сталеві конструкції, які використовуються в будівельній справі. Наприклад, в каркасах і опорних збірних конструкціях. Перевагою класичної форми є можливість з'єднання двох листових поверхонь товщиною понад 30 мм.

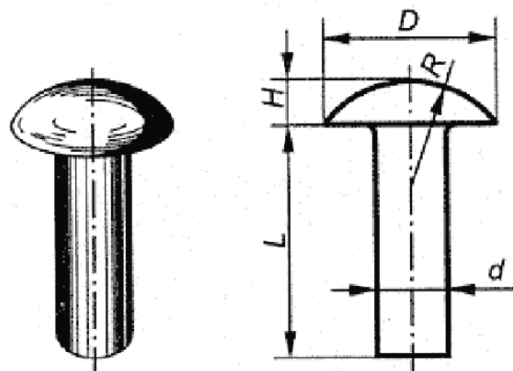


Рис. 1.9 Класична заклепка.

В окремих випадках ГОСТ 10299 80 допускає з'єднання збірки до 35 мм. На відміну від попередніх видів заклепок, класичну заклепку встановлюють тільки за наявності опорної поверхні із зворотної сторони площини з'єднання. Це необхідно для компенсації ударного навантаження по заклепувальному хвостовику.

Технологія клепаного з'єднання виконується в наступному порядку (рис.1.10):

1. Лінію, по якій буде здійснюватися установка заклепувального з'єднання, розмічають точками під свердління отворів у з'єднуваних листах.
2. Листи металу фіксують за допомогою механічних пристроїв типу струбцин або навіть точковим зварюванням. Виконують свердління крайніх точок установки кріплення, в які вставляють центруючі металеві штифти. При

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цьому діаметр отворів вибирають відповідно до рекомендацій ГОСТ 10299 80 приблизно на 10% більше діаметру тіла хвостовика.

3. У просвердлений отвір вставляється метиз таким чином, щоб головка знаходилася на зворотному боці з'єднуючої поверхні. Довжина кріплення також вибирається відповідно до ГОСТ 10299 80. Це забезпечує формування другої головки з хвостовика нормальних розмірів після його розклепування молотком або електричним ударником.

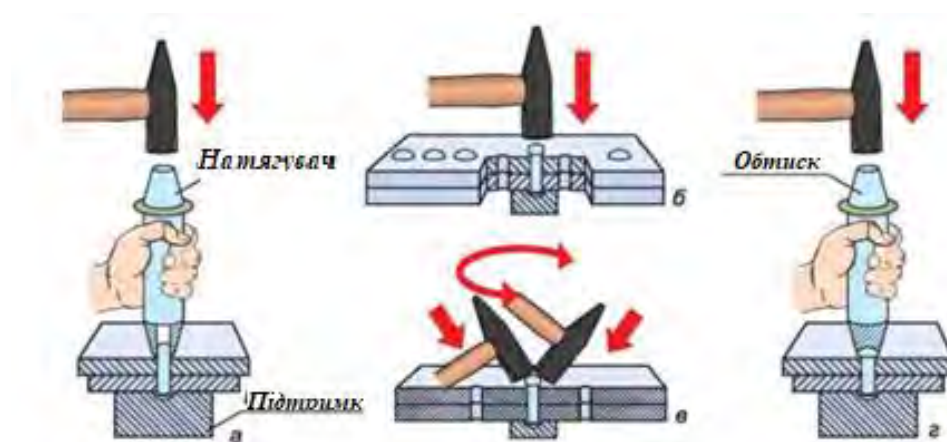


Рис. 1.10 Технологія фіксації багатошарової конструкції за допомогою класичного виду заклепки.

При виборі більш тонкого по діаметру стрижня його міцності може не вистачити для жорсткого з'єднання. В цьому випадку зусилля в радіальному напрямку здатне обірвати по черзі більшу частину з'єднань. Після розклепування метал кріплення повинен повністю заповнити отвори з невеликим натягом.

Не слід нехтувати рекомендаціями ГОСТУ 10299 80 при виборі довжини хвостовика кріплення. Занадто довгий хвостовик завадить правильній деформації і осаджуванню метала. Занадто короткий не забезпечить утворення другої головки необхідних розмірів і міцності.

Для збільшення пластичності заклепки з певних марок сталі можуть перед установкою розігріватися до високої температури з проковуванням головок і загартуванням кріплення. Заклепки алюмінієві, мідні, латунні перед установкою можуть проходити обробку спеціальними рідинами, що попереджають розвиток електрохімічної корозії.

Висновки

Незважаючи на значну трудомісткість установки і деяку архаїчність заклепувального кріплення, клепані з'єднання досі широко застосовуються в конструкціях літаків, суден, залізничних мостів. Тому в найближчі 20 - 30 років характер і спосіб використання клепаного з'єднання, швидше за все, не зміниться. Отже як один з розповсюджених видів з'єднання багат шарових конструкцій потребує періодичного контролю на наявність дефектів одним з методів неруйнівного контролю.

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИХРОСТРУМОВИЙ ВИД НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ.

Як відомо, вихрові струми виникають в електропровідних виробах, що знаходяться під впливом змінного магнітного поля. [1, 3]

Вихрові струми виникають в провідних тілах як внаслідок зміни магнітного потоку в часі, так і в результаті відносного переміщення тіла з електропровідного матеріалу і магнітного потоку.

Вихрові струми замикаються безпосередньо в провідних виробах, утворюючи вихроподібні контури електричних струмів, зчіплюючись з індукуючим їх магнітним потоком.

Відповідно до закону Ленца змінне магнітне поле вихрових струмів прагне протидіяти змінам магнітного потоку, індукуючи вихрові струми, внаслідок чого вони чинять розмагнічуючу дію на джерело змінного магнітного потоку, в тому числі і на збуджуючу котушку перетворювача, внесена індуктивність якої зменшує власну індуктивність збуджуючої котушки ВСП (звичайно в разі контролю не феромагнітного матеріалу).

Вихрові струми викликають відповідні виділення тепла, які називають втратами енергії на вихрові струми. У вихрострумівому контролі ці втрати визначають внесений активний опір ВСП, який може бути одним з інформативних параметрів ВСП при контролі промислових виробів.

Як зазначалося вище, вихрострумівий контроль заснований на аналізі взаємодії електромагнітного поля зовнішнього джерела (обмотка збудження ВСП) з електромагнітним полем вихрових струмів, порушуваних в ОК змінним магнітним полем ВСП.

Розподіл щільності вихрових струмів в провідному об'єкті контролю визначається джерелом електромагнітного поля, геометричними

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характеристиками і електромагнітними параметрами ОК, а також взаємним розташуванням ВСП і ОК.

Збуджуюча котушка ВСП може розташовуватися поблизу ОК (рис. 2.1, а) - накладні ВСП або охоплювати його (рис. 2.1, б) - прохідний ВСП.

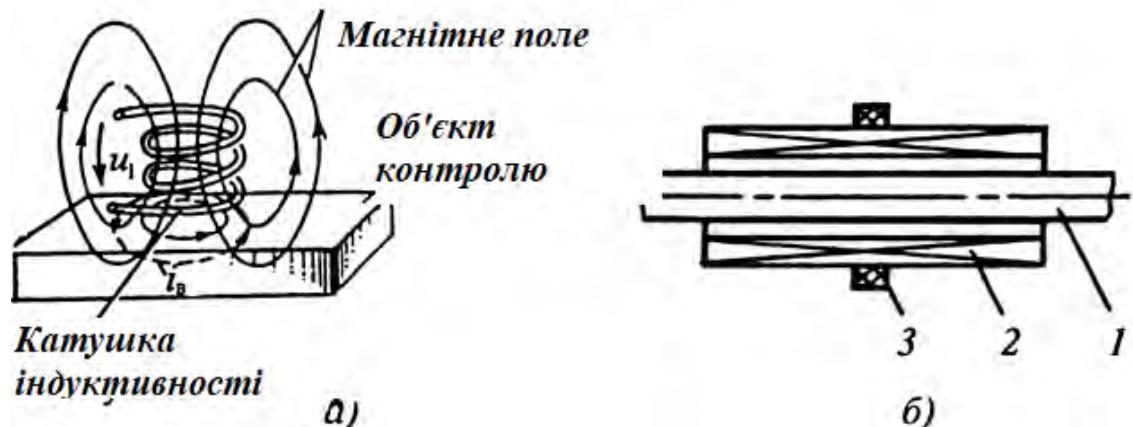


Рис.2.1 Різновиди ВСП за розташуванням: а – накладний ВСП, б – прохідний ВСП ”.

Принцип дії вихрострумового контролю можна пояснити за допомогою схеми, представленої на рис. 2.2. На ній зображено генератор змінного струму, обмотки ВСП: збуджуюча, підключена до генератора, і вимірювальна, поєднана з блоком вимірювання, призначеним для виділення і обробки сигналів, що несуть інформацію про вимірюваний параметр ОК.

На рис 2.2 показаний також графік розподілу щільності вихрових струмів в ОК. З графіка видно, що максимального значення щільність вихрових струмів в ОК досягає під витками збуджуючої обмотки ВСП. Під її центром вихрові струми відсутні, а отже, виявити дефект в цьому місці ОК не представляється можливим.

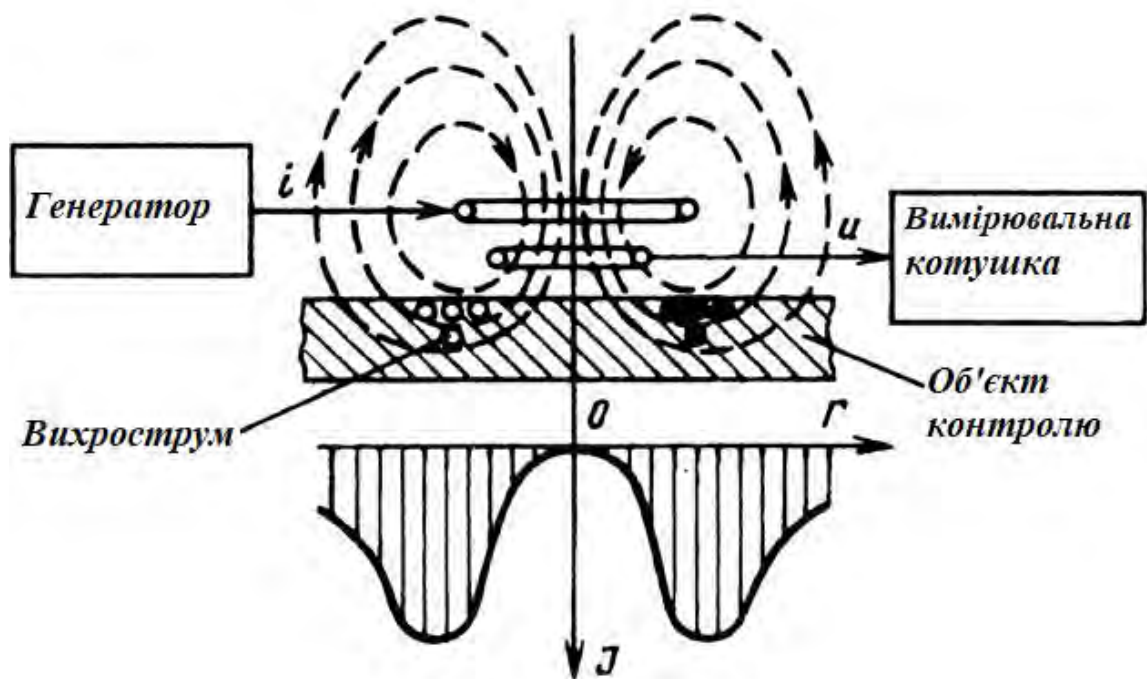


Рис. 2.2 Система “ВСП – ОК”

2.1 Области применения вихрострумового контролю

ЕРС вимірювальної обмотки і опір збуджуючої обмотки ВСП залежать від багатьох параметрів ОК, а також від взаємного розташування ВСП і ОК, тобто інформація, що отримується від перетворювача – багатопараметрова. Це визначає як переваги, так і труднощі реалізації вихрострумового контролю. З одного боку, він дозволяє здійснювати багатопараметровий контроль. З іншого боку, доводиться використовувати різні досить складні способи виділення сигналів від контрольованих параметрів і придушення впливу заважаючих контролю чинників для того, щоб здійснювати селективний (роздільний) контроль параметрів.

Перевагою вихрострумового контролю є те, що його можна проводити за відсутності механічного контакту між ВСП і ОК, тому його часто називають безконтактним. Завдяки цьому вихрострумовий контроль можна виконувати

при русі ОК відносно ВСП, причому швидкість цього руху при виробничому контролі може бути значною, що забезпечує високу продуктивність контролю.

Додатковою перевагою вихрострумowego контролю є те, що на сигнали ВСП практично не впливають вологість, тиск і забрудненість поверхні ОК непровідними речовинами, а також простота конструкції ВСП.

У більшості випадків котушки ВСП поміщають в запобіжний корпус, вони стійкі до механічних і атмосферних впливів і представляють досить надійні первинні перетворювачі.

Так як вихрові струми виникають тільки в електропровідних матеріалах, то об'єктами вихрострумowego контролю можуть бути вироби, виготовлені з металів, їх сплавів, графіту та інших електропровідних матеріалів.

В даний час вихрострумові прилади й установки широко використовуються для: виявлення і визначення параметрів дефектів - не суцільності матеріалу (дефектоскопія і дефектометрія), контролю розмірів ОК і параметрів вібрацій (товщинометрія і віброметрія), визначення фізико-механічних властивостей і структурного стану матеріалів (структуроскопія), виявлення електропровідних об'єктів (металошукування) і для інших цілей. Об'єктами вихрострумowego контролю можуть бути: електропровідні прутки, дріт, труби, листи, пластини, в тому числі багат шарові, залізничні рейки, корпуси атомних реакторів, кульки і ролики підшипників, кріпильні деталі і багато інших промислові вироби.

2.2 Класифікація вихрострумових перетворювачів

В даний час розроблено велику кількість типів і різновидів ВСП (рис 2.3). Для більш правильного їх використання доцільно знати їх класифікацію. Можна запропонувати кілька різних класифікаційних ознак. Перш за все, за

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

типом перетворення параметрів ОК в вихідний сигнал ВСП поділяються на параметричні і трансформаторні.[1]

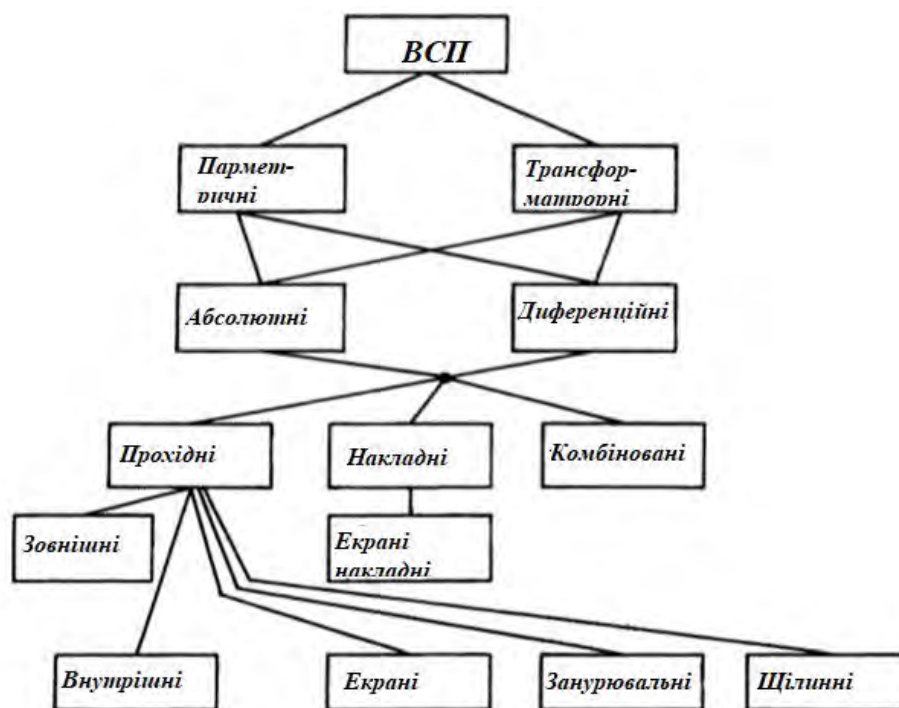


Рис. 2.3 Класифікація вихрострумових перетворювачів

Параметричний ВСП має лише одну збуджуючу обмотку, параметри якої (активний і індуктивний опори) залежать від параметрів ОК, температури навколишнього середовища і відстані між ВСП і ОК.

Трансформаторний ВСП крім збуджуючої обмотки має ще й вимірювальну обмотку, електрорушійна сила (ЕРС) якої залежить від параметрів ОК.

Перевага параметричних ВСП полягає в їх простоті, а недолік, який значно слабше виражений в трансформаторних ВСП, - в залежності вихідного сигналу від температури перетворювача.

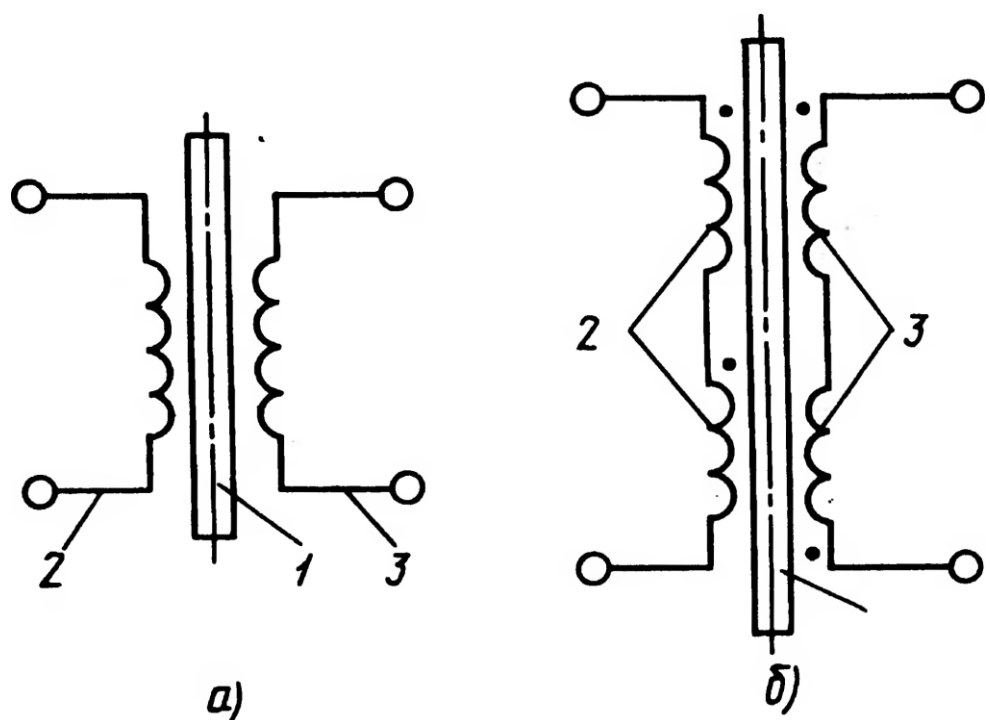


Рис. 2.4 Способи з'єднання котушок ВСП

За способом з'єднання котушок (обмоток) ВСП поділяють на абсолютні і диференціальні. Абсолютним називається ВСП, вихідний сигнал якого визначається абсолютними значеннями параметрів ОК в зоні контролю (рис. 2.4, а). Диференціальним ВСП прийнято називати, по суті, сукупність двох абсолютних ВТП (рис.2.4, б). У диференціальному ВСП обмотки збудження 2 включені послідовно узгоджено, а вимірювальні 3 – зустрічно. Вихідний сигнал такого ВСП визначається різницею значень параметрів об'єкта, що вимірюються в зоні розташування вимірювальних обмоток.

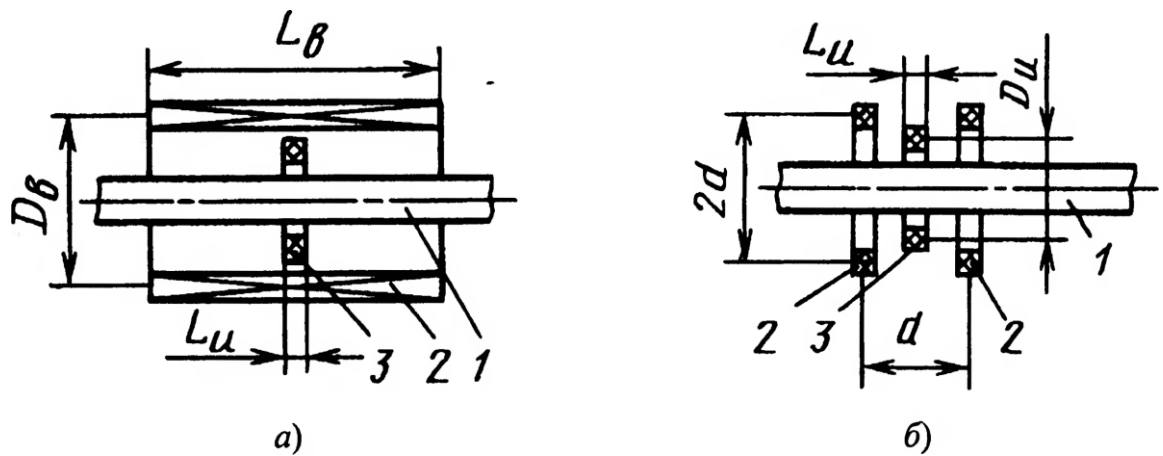


Рис. 2.5 Схеми взаємного розташування прохідних трансформаторних ВСП та ОК циліндричної форми: 1 - ОК; 2 - збуджуючі і 3 - вимірювальні котушки; L_{θ} , L_u - довжина збуджуючої і вимірювальної обмоток відповідно; D_{θ} , D_u - діаметри збуджуючої і вимірювальної обмоток відповідно; d - відстань між збудливими обмотками

Залежно від розташування ВСП по відношенню до об'єкта контролю їх поділяють на прохідні, накладні і комбіновані.

Прохідні ВСП зазвичай поділяють на зовнішні, внутрішні, заглибні і екранні. На рис. 2.6 показані різновиди трансформаторних зовнішніх прохідних ВСП. Основною їх особливістю є те, що котушки ВТП охоплюють ОК.

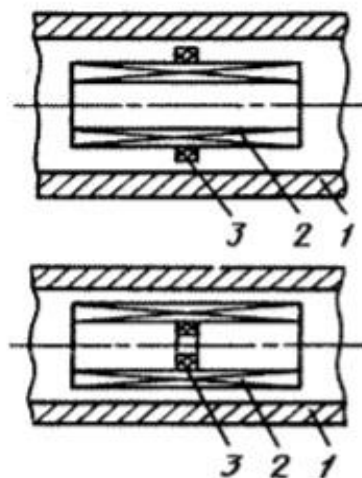


Рис.2.6 Трансформаторні зовнішні прохідні ВСП

Котушки внутрішніх прохідних ВСП вводять всередину ОК (рис. 2.6), найчастіше вони служать для контролю труб. Занурювальні ВСП використовують для контролю рідких електропровідних матеріалів, їх котушки поміщають в контрольоване середовище.

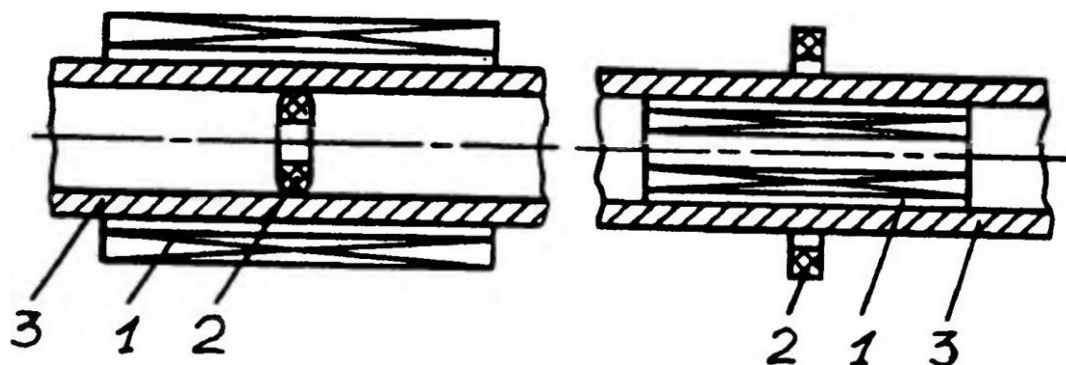


Рис. 2.7 Екранні прохідні ВСП

В екранних прохідних ВСП збуджуючі і вимірювальні котушки розташовують по різні боки ОК. На рис. 2.7 показані екранні прохідні ВСП. Зовнішніми, внутрішніми і зануреними можуть бути як параметричні, так і трансформаторні ВСП, а екранними – тільки трансформаторні.

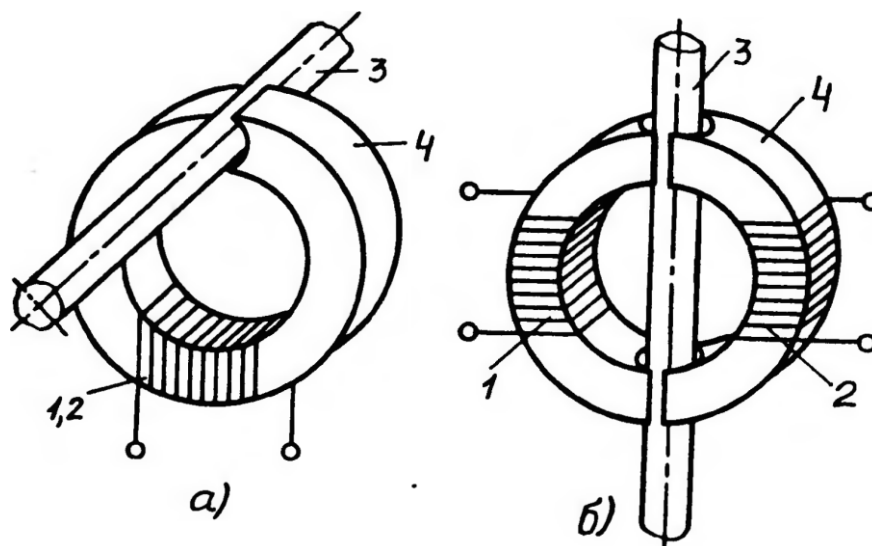


Рис. 2.8 Конструкції щілинних ВСП:

а - параметричний; б - трансформаторний;

1, 2 – збуджуюча та вимірювальна обмотки; 3 - ОК; 4 – магнітопровід

До прохідних можна віднести і так звані «щілинні» ВСП з магнітопроводом 4, що охоплює ОК 3. На рис. 2.8, а представлений параметричний щілинний, а на рис. 2.8, б -трансформаторний ВСП.

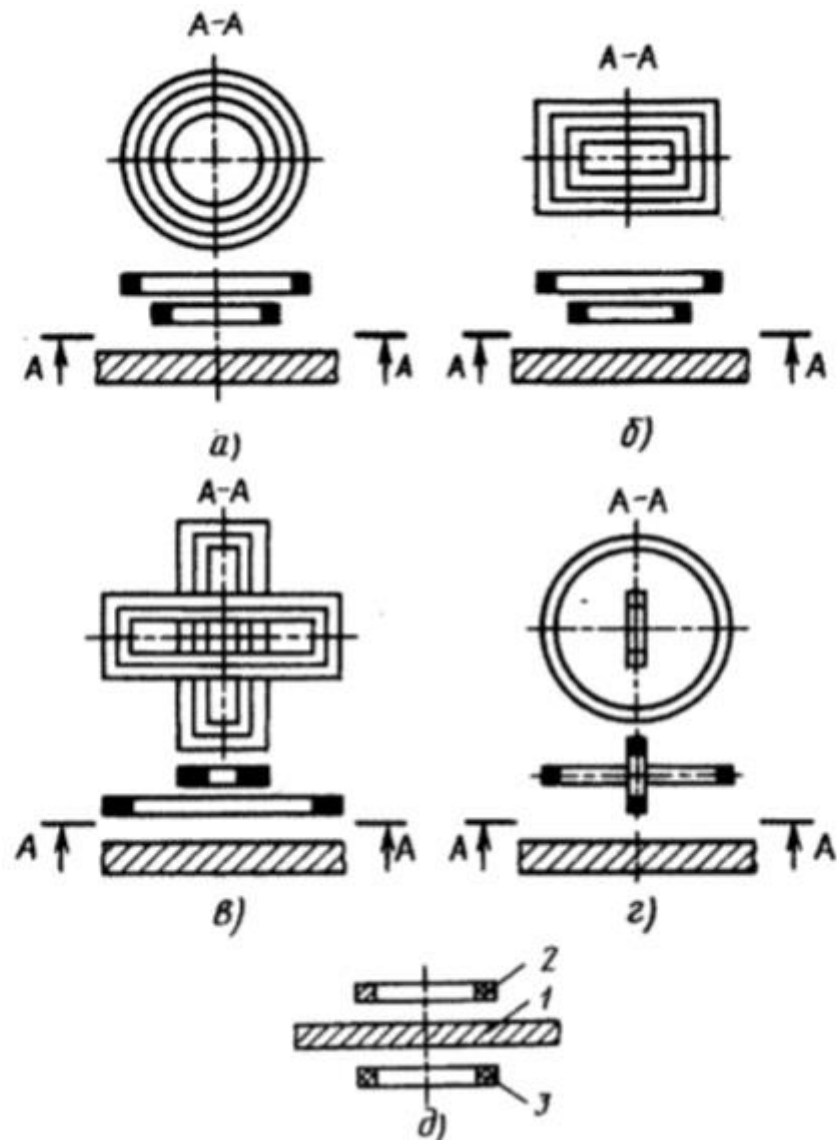


Рис. 2.9 Види взаємного розміщення ОК та накладних ВСП.

Накладні ВСП (рис. 2.9) розміщують поблизу поверхні ОК. Вони мають одну або кілька обмоток. Їх осі зазвичай розташовують нормально поверхні ОК, тобто прикладають торцем до ОК. Однак можливо поздовжнє розташування накладних ВСП, коли осі котушок направлені уздовж поверхні ОК (поздовжні накладні ВСП). Накладні ВСП мають значно більші можливості для контролю, ніж прохідні. Вони дозволяють контролювати геометричні і електромагнітні параметри ОК складної форми. Котушки

накладних ВСП можуть бути круглими коаксіальними (рис.2.9, а), прямокутними (рис. 2.9, б), прямокутними хрестоподібними (рис.2.9, в), з взаємно-перпендикулярними осями (рис. 2.9. г) та ін. Накладні ВСП так само, як і прохідні, можуть бути екранними, коли збуджуючі і вимірювальні котушки розташовуються по різні боки ОК, наприклад контрольованого листа (рис.2.9, д).

Накладні вихрострумові перетворювачі вимагають одностороннього доступу і можуть використовуватися для контролю об'єктів плоскої, циліндричної (при досить великому радіусі кривизни) і складної форм. Накладні ВСП більш універсальні і дають змогу проводити локальний контроль об'єкта, що важливо для забезпечення високої роздільної здатності апаратури і точного визначення дефектних зон при скануванні заданої поверхні об'єкту.

За допомогою накладних ВСП вирішуються наступні завдання: вимірювання товщини листів, непровідних покриттів на металевій основі і провідних покриттів на різних основах; контроль питомої електричної провідності металів і сплавів (кольорових, тугоплавких, корозійностійких сталей); дефектоскопія виробів найрізноманітнішої форми і структуроскопії (відповідність заданій марці сплаву, вимірювання твердості, оцінка міцності, оцінка якості термообробки) деталей з немагнітних сплавів, а в деяких випадках і з феромагнітних сталей і композитних матеріалів.

Накладні вихрострумові перетворювачі мають більш високу (в порівнянні з ВСП прохідного типу) чутливість до локальних дефектів, завдяки чому вони використовуються в дефектоскопах як ручного застосування, так і в автоматизованих установках поточного контролю труб і прокату. За допомогою накладних ВСП вдається досягти досить високого ступеня локальності контролю (до 1 мм і менше) внаслідок використання перетворювачів невеликих розмірів, різних концентраторів поля (феритові

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сердечники, металеві щілинні екрани та ін.) і особливої конструкції ВСП. Накладні ВСП дозволяють створити портативні засоби контролю масою 0,3 ... 0,5 кг, переносні прилади багатоцільового застосування, а також автоматизовані установки з механічним і електронним скануванням контрольованої поверхні об'єкту. Сучасні засоби вихрострумowego контролю на базі накладних ВСП виконуються з використанням мікропроцесорних контролерів, сполучаються з комп'ютерами більш високого рівня, дають можливість не тільки швидко приймати рішення про дефекти виробу, в тому числі і в автоматичному режимі, а й дозволяють зберігати і узагальнювати результати контролю за необхідний період часу (робочий цикл, зміну, місяць, рік та ін.).

Недоліком накладних ВСП, деяке обмеження області його застосування, є в ряді випадків коли значний вплив на результати контролю чинить зміщення ВСП в напрямку, перпендикулярному до поверхні контрольованого об'єкта, тобто зміна зазору між ВСП і зовнішньою межею об'єкта контролю.

2.3 Типи конструкцій ВСП

Залежно від конкретно поставленого завдання використовують накладні перетворювачі різної конструкції (рис. 2.10).[3]

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

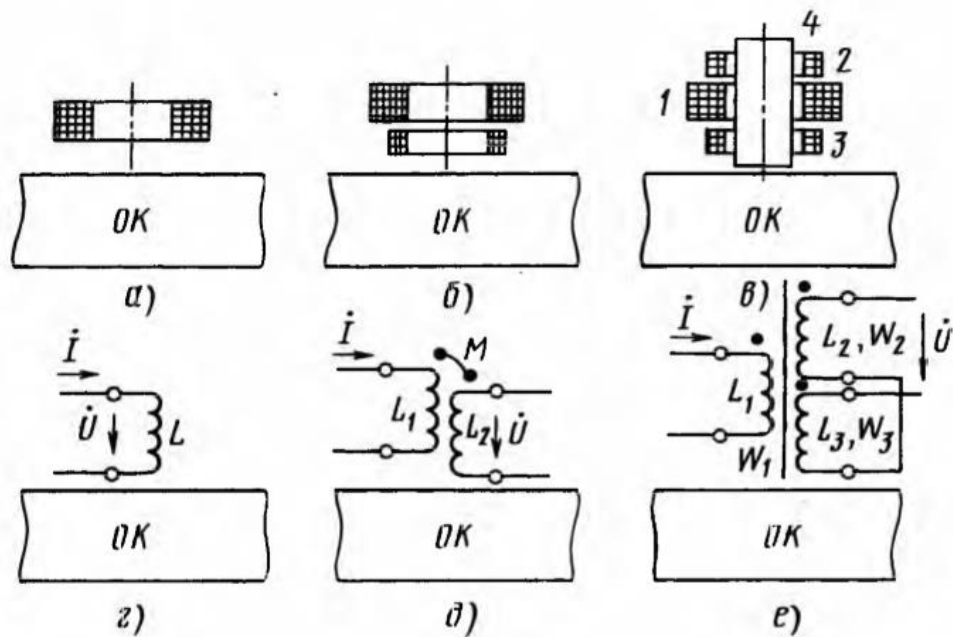


Рис. 2.10. Основні варіанти конструкцій накладних ВСП: а, б, в - з однією, двома, трьома обмотками відповідно; г – у вигляді котушки індуктивності; д – у вигляді повітряного трансформатора; е – у вигляді трансформатора з феромагнітним сердечником;

Перш за все, накладні ВСП можуть бути параметричними, які мають одну обмотку, і трансформаторними з двома або більше обмотками. Параметричні ВСП характеризуються індуктивністю L (індуктивним опором ωL) і активним опором R . Трансформаторні ВСП складаються з котушки збудження, по якій протікає електричний струм, і вимірювальної обмотки, з якої знімається напруга, що несе ту чи іншу інформацію про параметри об'єкта контролю. До вихідних величин, на які переноситься інформація про ОК, в трансформаторному ВСП відносяться не тільки індуктивність L і активний опір R обмоток, а й взаємоіндукції M (опір взаємоіндукції ωM), пов'язаної зазвичай з вихідною напругою і її фазою, в зв'язку з чим її значення може представлятися комплексним числом.

Параметричний накладний ВСП має одну обмотку (рис. 2.10, а), що представляє собою, по суті, котушку індуктивності (рис. 2.10, г). При взаємодії ВСП з ОК в результаті появи вторинного магнітного поля вихрових

струмів його індуктивність змінюється (найчастіше зменшується), а активний опір внаслідок втрат енергії від протікання в ОК вихрових струмів – збільшуються. За зміною цих параметрів можна судити про властивості контрольованого об'єкта.

Трансформаторний накладний ВСП з двома або більшою кількістю обмоток (рис. 2.10 б, в), фактично являє собою котушку взаємоіндукції у вигляді повітряного трансформатора (рис. 2.10, д) або трансформатора з феромагнітним осердям (рис. 2.10, е). У цьому випадку найчастіше його вихідною величиною є напруга на обмотках \dot{U}_1, \dot{U}_2 , що характеризується зазвичай модулем U і фазою φ або дійсною $Re\dot{U}$ і уявною $Im\dot{U}$ складовою напруги на другій обмотці.

При взаємодії трансформаторного ВСП з ОК, крім індуктивності і активного опору, змінюється взаємоіндукція M між обмотками (найчастіше зменшується) і, як наслідок, змінюється модуль напруги на обмотках U_1, U_2 , а через затримку в часі змінюються і їх фази φ_1, φ_2 . За зміною всіх цих параметрів окремо, або в їх комбінації можна судити про властивості контрольованого об'єкта, що обумовлює велику інформаційну цінність застосування трансформаторних перетворювачів. Крім того, як правило, параметри трансформаторних ВСП більш стабільні і менше залежать від зовнішніх умов (температури, вологості та ін.), що визначає їх більш широке використання.

Зміни вихідних величин ($\Delta L, \Delta R, \Delta M, \Delta U, \Delta \varphi$, та ін.), Що характеризують вплив контрольованого об'єкта на накладний ВСП, зазвичай називають внесеними значеннями. Відповідно, чим більше значення внесених величин в порівнянні з власними параметрами накладного ВСП, тим простіше проводити їх обробку з метою виділення корисної інформації на тлі зовнішніх

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і внутрішніх перешкод. Тому важливе значення мають оцінка і аналіз отриманих внесених величин для конкретного накладного ВСП.

З точки зору аналізу вихідних сигналів найбільш загальним є дослідження властивостей накладного перетворювача з двома обмотками, оскільки значення їх внесених параметрів легко отримати, вважаючи радіуси первинної і вторинної обмоток однаковими. Модуль внесених величин зазвичай набагато менше відповідних власних (початкових) параметрів накладного ВСП, тому, щоб виділити внесені значення, що містять корисну інформацію, проводять компенсацію (часткову або повну) власних параметрів ВСП тим чи іншим способом. Наприклад, для накладного ВСП з трьома обмотками вторинні обмотки 2 і 3 (див. рис. 2.10, в) включають зустрічно, кількість витків обмоток роблять рівними ($W_2=W_3$ див. рис. 2.10, е) і, переміщаючи одну з обмоток (наприклад, верхню), досягають більш точної компенсації – рівності нулю вихідної напруги ($\dot{U}_{\text{вих}} = \dot{U}_2 - \dot{U}_3 = 0$) за відсутності поблизу ВСП контролюваного об'єкта. Коли ж останній поміщається в вимірювальну зону накладного ВСП, на виході з'являється напруга, рівна внесеним значенням ОК. У випадку вихрострумової дефектоскопії таку компенсацію виконують після установки ВСП на ОК.

З достатньою для інженерної практики точністю (5 ... 20%) в переважній більшості випадків збуджуюча і вимірювальна обмотки для найрізноманітніших конструкцій накладних ВСП можуть бути для полегшення розрахунку і аналізу замінені еквівалентними витками нескінченно тонкого поперечного перерізу, що збігаються за формою з середнім витком обмотки.

З точки зору обчислення вихідних сигналів накладного ВСП за певних умов (зазорі, частоті, струму та ін.). Основним завданням є розрахунок комплексної внесеної напруги на вимірювальній обмотці ВСП з двома котушками. Частіше за інших на практиці використовують котушки з круговими витками, тому основна увага буде приділено аналізу сигналів ВСП

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

такої конфігурації. Вихрострумний контроль дозволяє виявляти як поверхневі, так і під поверхневі (залягають на глибині до 1...4 мм) дефекти.

2.4 Об'єкти контролю

Об'єктами вихрострумового контролю можуть бути: основний метал, зварні з'єднання конструкцій, а також деталі. Вихрострумовим контролем можуть бути виявлені: кувальні, штампувальні, шліфувальні тріщини, надриви в елементах конструкцій та деталях; волосовини, неметалеві включення, пори в поковках та прокаті; тріщини, що виникли в елементах конструкцій та деталях при експлуатації машин.

Вихрострумовим методом не можуть бути проконтрольовані елементи конструкцій та деталі з різкими змінами магнітних або електричних властивостей; з дефектами (тріщинами), площини розкриття яких є паралельні до контрольованої поверхні або складають з нею кут менший від 10°. При вихрострумовому контролі дуже складно виявляються дефекти в елементах конструкцій та деталях: з поверхнями, на які нанесені електропровідні захисні покриття, якщо дефект не виходить на поверхню покриття; з поверхнями, покритими корозією.

Найкраще виявляються дефекти типу поперечних тріщин, зорієнтовані перпендикулярно до контрольованої поверхні. Ширина розкриття поперечної тріщини в певних межах не впливає на можливості її виявлення (20...30 мкм), однак можливості виявлення дуже щільних тріщин різко зменшується. Таке явище, наприклад, характерне для тріщин загартування. Ризики і надрізи в порівнянні з поперечними тріщинами, зазвичай, виявляються гірше. Заповнення порожнини дефекту брудом, нагаром, неелектропровідними оксидами тощо не призводить до зниження їх виявленості.

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихрострумові методи використовують в авіації для контролю стану конструкцій літаків, виготовлених із струмопровідних матеріалів:

- гальмівні барабани коліс;
- лопаті повітряних гвинтів;
- лопаті компресора і турбіни газотурбінних двигунів;
- силові елементи планера.

Кріплення з потайною головкою зазвичай встановлюються на зовнішній стороні обшивки літака уздовж стиків або на ділянках із зовнішньої сторони літака, щоб не впливати на його аеродинаміку.

Як правило, тріщини виникають на прилеглих поверхнях між обшивкою і другим шаром або, в деяких випадках, в структурах третього шару всередині отворів кріплення. Звідти вони просуваються уздовж лінії кріплення, поки не прийдуть до наступного отвору, послаблюючи конструкцію, поки не відбудеться збій.

Ще одне технологічне вдосконалення - в самих вихрострумових приладах - було необхідно, щоб дозволити розробку і використання ковзних зондів. З введенням більш сучасних інструментів оператори змогли регулювати підсилення сигналу, фазовий кут, параметри фільтрації і безліч інших критичних параметрів інструменту. До появи сучасних приладів велика частина вихрострумового контролю проводилася з використанням вимірювальних аналогових приладів. Фахівці з неруйнівного контролю на місцях повинні були спостерігати, як внесена напруга зростає або спадає, здогадуючись, що було дефектом, а що було просто результатом зміни, наприклад, геометрії ОК, що впливає на вихрові струми. Пізніше, коли були доступні як прецизійні прилади для вимірювання опору, так і технологія зі змінними параметрами зондуючого сигналу, прийшов час удосконалити

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процес контролю і заощадити час, дозволяючи продовження терміну експлуатації літаків зі значно меншими експлуатаційними витратами.

Висновок

Розглянувши основні відомості про можливості пошуку дефектів та переваги вихрострумового контролю зроблено висновок про доцільність використання цього виду контролю для виявлення дефектів в багатошарових клепаних з'єднаннях. Для умов поставленої задачі найбільш раціональним є використання вихрострумового перетворювача накладного типу у вигляді трансформатора з феромагнітним сердечником та диференційно підключеними вимірювальними котушками.

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ОГЛЯД СТРУКТУР ВСП ТА РОБОТИ ВСД.

3.1 Види конструкції вихрострумового перетворювача контролю зони заклепок.

Статичний спосіб. Для реалізації процесу контролю використовуються вихрострумові перетворювачі (ВСП) кільцевого типу. Конструкція таких ВСП представлена на рис.3.1 і складається з двох послідовно з'єднаних генераторних котушок 3, та двох диференційно підключених вимірювальних котушок 2. Однією з особливостей є наявність отвору 4 в корпусі ВСП, який відповідає діаметру заклепки 5, що з'єднує багатошарову конструкцію 1. Такий ВСП здатний виявляти тріщини довжиною 5 мм в другому шарі конструкції з алюмінієвого сплаву товщина першого шару якого становить 1,8 мм, в зоні заклепки діаметр головки якої дорівнює 8 мм. [6]

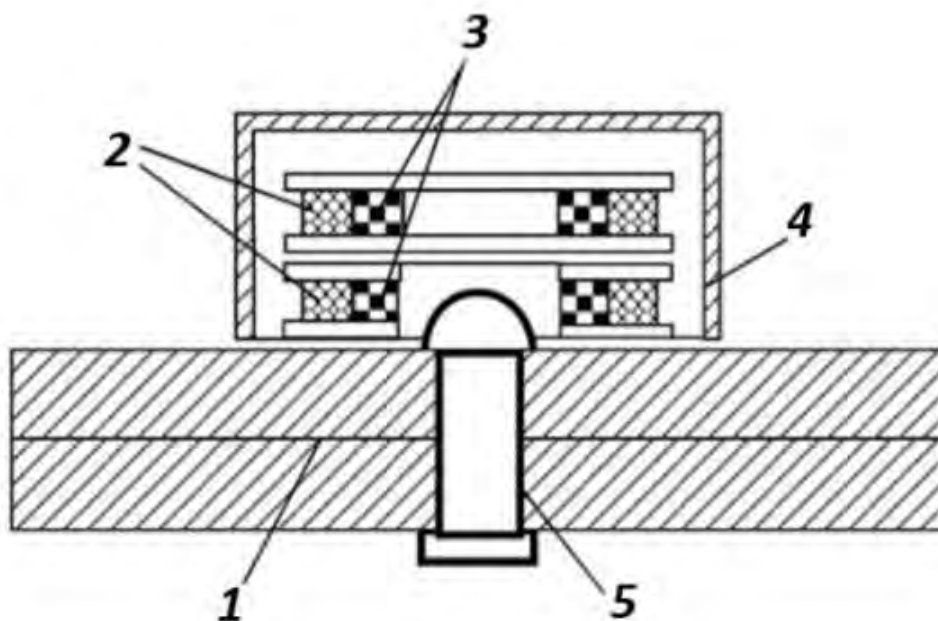


Рис.3.1. Система “ВСП кільцевого типу — клепане з’єднання.”

Ковзаючий спосіб. При використанні ВСП такого типу його переміщують вздовж ряду заклепок, які знаходяться на одній осі та мають

однаковий діаметр головки. ВСП на рис.3.2. складається з однієї центральної котушки збудження 4 та чотирьох вимірювальних 3,

розташованих симетрично та підключених послідовно. ВСП встановлюють на багатошаровий вузол 2 з рядом заклепок 1. Сканування проводиться по осі x , яка з'єднує центри заклепок. За наявності дефекту типу тріщини 5, відбувається перерозподіл вихрових струмів в дефектній ділянці ОК, що дозволяє вирізнити цю ділянку.

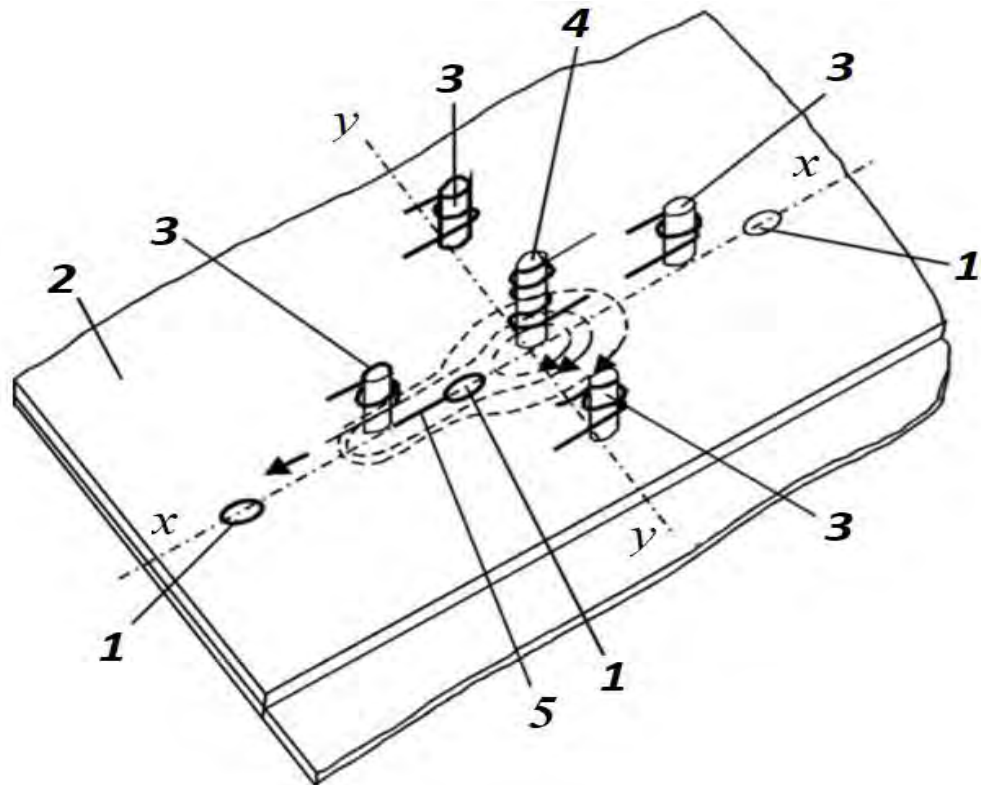


Рис. 3.2. Взаємне розташування ОК та ВСП ковзаючого типу.

Обертаючий спосіб. Найвищою чутливістю при контролі зони заклепки мають ВСП, що обертаються навколо заклепки. Згадані вище ВСП давали змогу виявляти тріщини, які виходять за границі головки заклепки. Розміри таких тріщин вже можуть бути критичними. На основі мультидиференційних низькочастотних ВСП стало можливим виявлення тріщин, які не виходять за межі головки заклепки. Методика налаштування вихрострумових дефектоскопів передбачає використання особливих конструкцій ВСП, які забезпечують високий рівень небаланса і установку його співвісно з заклепкою. На рис.3.3. ВСП 2 встановлюють співвісно з заклепкою за допомогою спеціальної діелектричної підставки 3, спостерігаючи за зміною

сигналу при обертанні ВСП. В результаті обертання над бездефектною ділянкою баланс не порушується. За наявності дефекта 1 баланс порушується. Для реалізації цього методу достатньо обертання ВСП відносно ОК на 90° в обидві сторони.

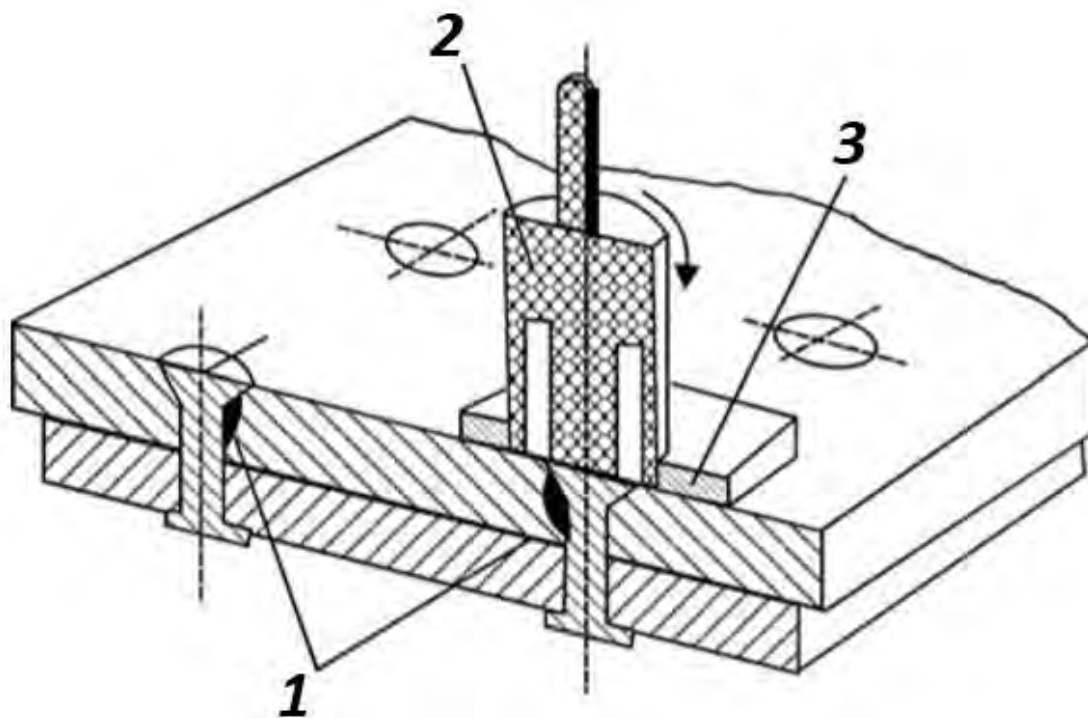


Рис. 3.3. Взаємне розташування ОК та ВСП обертаючого типу.

3.2 Аналіз годографів сигналів накладних ВСП.

Сигнали накладних ВСП від дефектів, залежать від геометричних параметрів дефекту і його орієнтації відносно ВСП, значення узагальненого параметра контролю β , параметрів ВСП, струму збудження (для феромагнітних матеріалів). Крім того, на сигнали накладних ВСП від дефектів впливають форма і кривизна поверхні об'єкта в зоні контролю, а також у великій мірі відстань (зазор) між ВСП і ОК.[1]

Годографи збільшень напруги накладного ВСП, розташованого над неферомагнітним півпростором, від глибини h^* вузьких довгих дефектів, а

також від глибини залягання δ_* дефектів при значенні узагальненого параметра наведеного в формулі (3.1)

$$\beta = 0.5D_{\text{екв}}\sqrt{\omega\mu_0\sigma} = 6 \quad (3.1)$$

і відносному зазорі $\xi = 0,375$ наведені на рис. 3.4. Для накладного ВСП зазор, глибина дефекту і глибина його залягання нормовані по еквівалентному діаметру перетворювача $D_{\text{екв}}$.

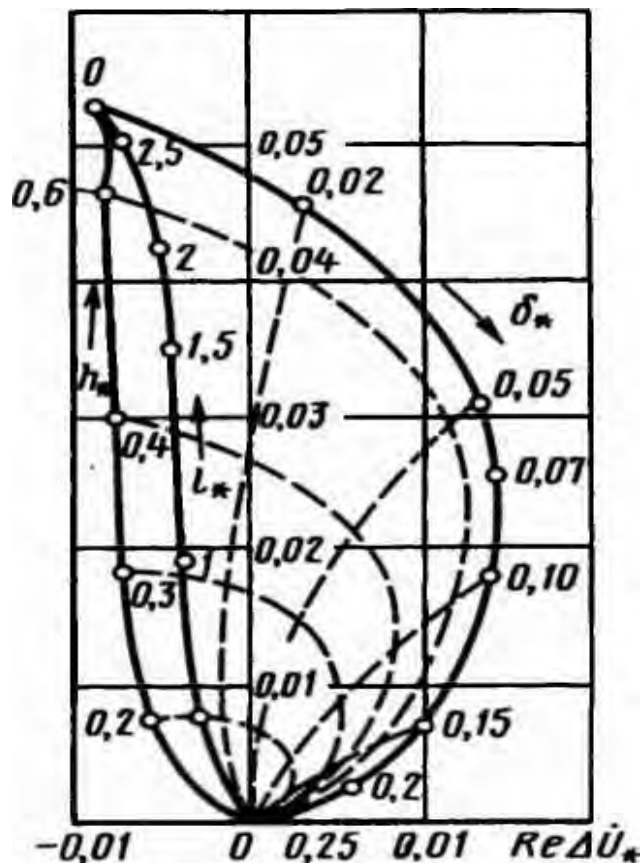


Рис.3.4. Годограф накладного ВСП від глибини довгих дефектів в провідному півпросторі.

На рис. 3.5. показані графіки залежності $\Delta U_*(\beta, h_*)$ і $\Delta U_*(\beta, \delta_*)$, з яких видно, що максимальні збільшення напруги від поверхневих дефектів виходять при $\beta = 6 \dots 10$.

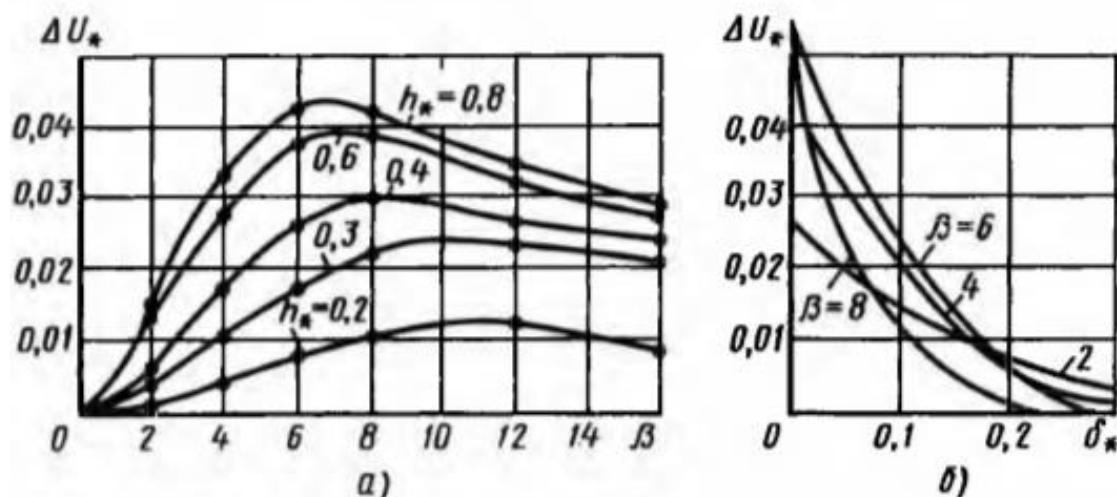


Рис.3.5. Графіки залежності сигналів накладного ВСП, обумовлених дефектами: а - від узагальненого параметра β ; б - від глибини залягання дефектів δ .

При використанні в дефектоскопах накладних ВСП для зменшення впливу зазору дуже часто застосовують амплітудно-фазовий спосіб виділення інформації. У зв'язку з цим становить інтерес залежність проекції ΔU_{\perp} збільшення напруги на напрямок вектора опорної напруги, перпендикулярні лінії впливу зазору. На рис. 3.6 представлені графіки залежності $\Delta U_{\perp*}(\beta, h_*)$ і $\Delta U_{\perp*}(\beta, \delta_*)$. Графіки на рис. 3.6, б показує, що у дефектоскопів з амплітудно-фазовим способом придушення впливу зміни зазору чутливість до під поверхневих дефектів убуває повільно при збільшенні глибини залягання δ_* і може бути навіть вища чутливість до поверхневих дефектів. Так, при $\beta = 6$ крива $\Delta U_{\perp}(\delta)$ має різко виражений максимум, а при $\beta = 2$ чутливість накладного ВСП до дефектів істотно не змінюється при зміні δ від 0 до 0,3 мм.

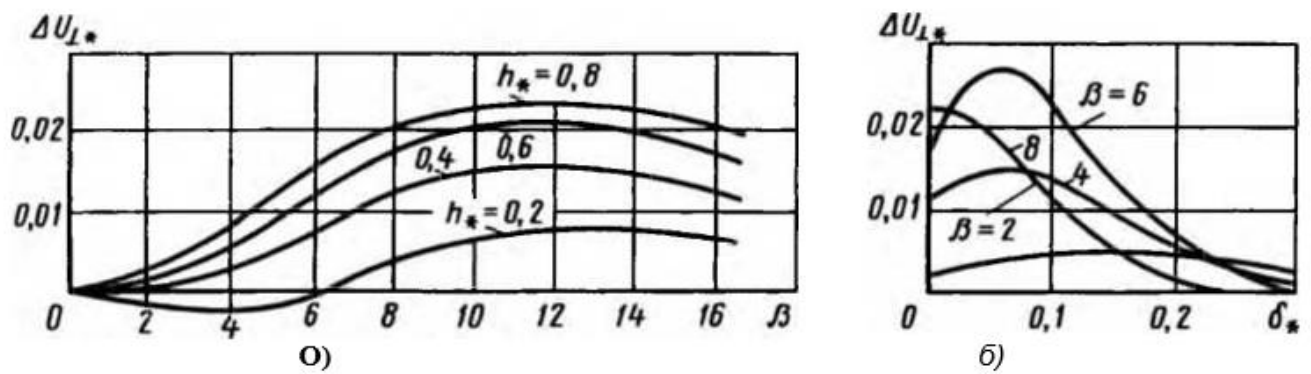


Рис. 3.6. Графіки залежності проекції векторів напруги, обумовлених поверхневими (а) і під поверхневих (б) дефектами, на напрям, перпендикулярний лінії впливу зміни зазору.

За залежністю приросту напруги накладного ВСП від довжини дефекту на рис. 3.7. видно, що сигнали від дефекту зростають при збільшенні довжини дефекту l яка визначається за формулою (3.2)

$$l = l/D_{\text{екв}} \quad (3.2)$$

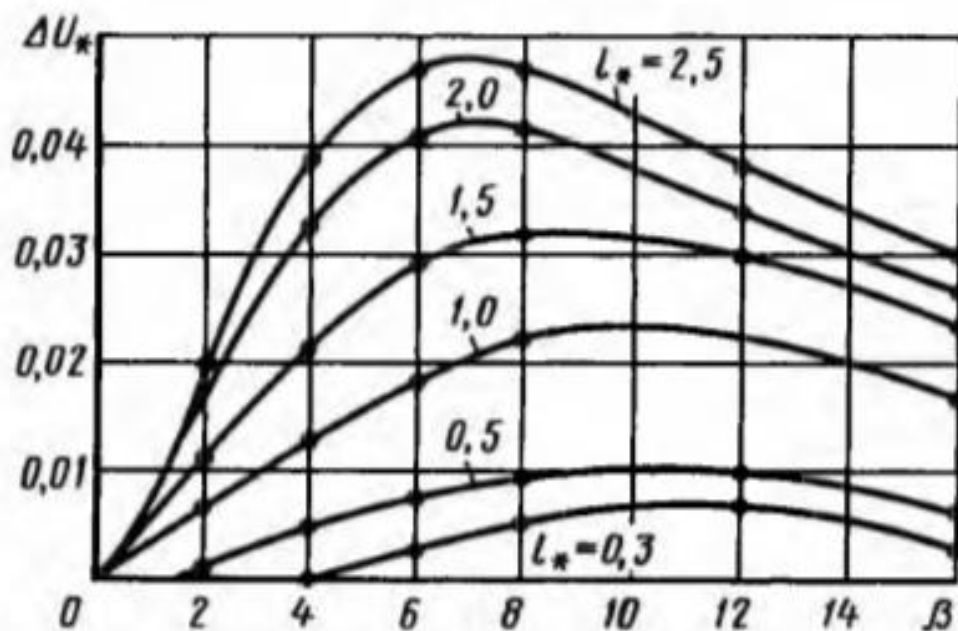


Рис.3.7.Залежність ΔU_* накладного ВСП від довжини дефекту.

Залежності, наведені на рис. 3.4. ... 3.7, показують, що чутливість накладного ВСП до дефектів визначається розмірами дефектів, відносно до

еквівалентного діаметру перетворювача. Звідси випливає висновок, що для виявлення дрібних дефектів необхідно зменшувати діаметр ВСП. У цьому полягає одна з найважливіших переваг накладного ВСП в порівнянні з прохідним.

Висновок

В результаті огляду різних типів вихрострумових перетворювачів обираємо найбільш продуктивний, з точки зору часу, зручності використання та чутливості до пошуку дефектів для контролю клепаних багат шарових з'єднань, ВСП обертаючого типу.

3.3 Розрахунок накладного трансформаторного ВСП

Взаємне розташування ВСП і ОК показано на рис. 3.8.

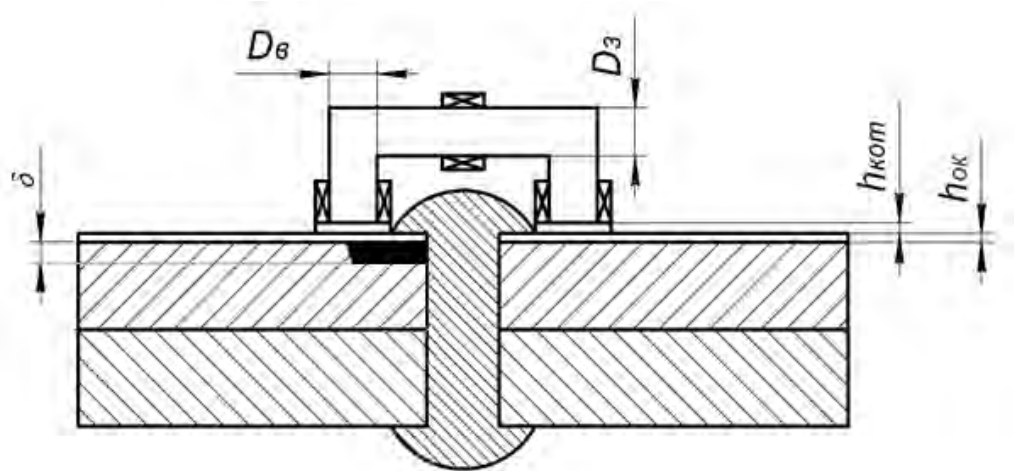


Рис. 3.8 ВСП-ОК.

Початкові дані для розрахунку. Глибина залягання вихрового струму обираємо в залежності від можливого розташування шуканого дефекту на глибині 0.5 мм, отже глибина залягання вихрових струмів $\delta = 0.5$ мм.

Питома електропровідність контрольованого шару клепаного з'єднання вироблена з алюмінію $\sigma = 3.5 \cdot 10^7$ См/м .

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Товщина захисного покриття вимірювальної котушки $h_{\text{кот}}=1$ мм.

Розрахунок почнемо з визначення сумарної відстані від котушки збудження до провідного матеріалу ОК, яка складається з товщини захисної плівки котушок та захисного покриття ОК, що наближено дорівнює $h_{\text{ОК}} = 0.2$ мм. Отже вся відстань від ВСП до ОК визначається за формулою :

$$h = h_{\text{кот}} + h_{\text{ОК}} = 1 + 0.2 = 1.2 * 10^{-3} \text{ м} \quad (3.3)$$

Геометричні параметри перетворювача обираємо з конструктивних міркувань таких як кількість витків та діаметри котушок:

$$D_B=2 \text{ мм}, D_3=2 \text{ мм}, W_B=W_3=75$$

Еквівалентний діаметр вихрострумового перетворювача розраховуємо за формулою:

$$D_{\text{екв}} = D_B + 1.5 * h = 2 + 1.5 * 1.2 = 3.8 * 10^{-3} \text{ м} \quad (3.4)$$

Параметри потрібні для подальшого розрахунку визначаємо :

$$\xi = \frac{2 * h}{D_{\text{екв}}} = \frac{2 * 1.2}{3.8} = 0.632 \quad (3.5)$$

$$m = \frac{D_B}{D_3} = \frac{2}{2} = 1 \quad (3.6)$$

Розраховуємо частоту котушки збудження :

$$f = \frac{1}{\pi * \delta^2 * \mu_0 * \sigma} \quad (3.7)$$

$$f = \frac{1}{\pi * (0.5 * 10^{-3})^2 * 4 * \pi * 10^{-7} * 3.5 * 10^7} = 28.95 * 10^3 \text{ Гц}$$

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В залежності від частоти розраховуємо узагальнений параметр

$$\beta = 0.5 * D_{\text{екв}} \sqrt{2 * \pi * f * \mu_0 * \sigma} \quad (3.8)$$

$$\beta = 0.5 * 3.8 * 10^{-3} \sqrt{2 * \pi * 28.95 * 10^3 * 4 * \pi * 10^{-7} * 3.5 * 10^7} = 5.4$$

Обираємо діаметр проводу котушки $d_1 = 0.115 * 10^{-3} \text{ м}$, матеріал мідь
питомий електричний опір якої дорівнює $\rho = 0.018 \frac{\text{Ом} * \text{мм}^2}{\text{м}}$ та перевіряємо
максимально допустиму силу струму для запобігання перегріву за наступних
умов

$$I = (0.8 \div 0.9) \cdot I_{\text{пр}} \quad (3.9)$$

$$I_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot S_{\text{охл}} [\Theta]_{\text{д}}}{R}} \quad (3.10)$$

де $\lambda = (8 \div 12) \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ – коефіцієнт теплопередачі;

$S_{\text{охл}}$ – площа поверхні охолодження котушки;

$[\Theta]_{\text{д}}$ – допустима температура перегріву;

Розраховуємо активний електричний опір котушки за формулою:

$$R = \frac{4 \cdot \rho \cdot W_1 \cdot D_{\text{ср}}}{d_1^2} = \frac{4 * 0.018 * 10^{-6} * 75 * 2 * 10^{-3}}{(0.115 * 10^{-3})^2} = 0.82 \text{ Ом} \quad (3.11)$$

Знаходимо приблизну площу охолодження котушки за формулою :

$$S_{\text{охл}} = 2\pi \cdot R^2 - 2\pi \cdot R_{\text{в}}^2 + 2\pi \cdot R \cdot L \quad (3.12)$$

$$S_{\text{охл}} = 2 * \pi * (1.575 * 10^{-3})^2 - 2 * \pi * (1 * 10^{-3})^2 + 2 * \pi * 1.575 * 10^{-3} * 1.725 * 10^{-3} = 26.37 * 10^{-6} \text{ м}^2$$

Отже максимальний струм через котушки дорівнюватиме:

$$I_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 26.37 \cdot 10^{-6} \cdot 10}{0.82}} = 0.056 \text{ A}$$

Для запобігання перегріву обираємо силу струму :

$$I = I_{\text{пр}} \cdot 0.9 = 0.117 \cdot 0.9 = 0.051 \text{ A} \quad (3.13)$$

Маючи всі необхідні параметри розрахуємо напругу холостого ходу :

$$U_{\text{х.х.}} = 1.35 \cdot 2\pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot W_1 \cdot W_2 (m - 0.3) \cdot I \cdot \sqrt{D_B \cdot D_3} \quad (3.14)$$

$$U_{\text{х.х.}} = 1.35 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 28.95 \cdot 10^3 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 75 \cdot 75 (1 - 0.3) \cdot 0.051 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 0.124 \text{ В}$$

Внесену напругу від дефекту типу тріщина глибиною $h_{\text{деф}} = 3 \text{ мм}$ визначимо за годографом (рис. 3.9). Для цього нам потрібно розрахувати відносну глибину тріщини h_* за еквівалентним діаметром за формулою:

$$h_* = \frac{h_{\text{деф}}}{D_{\text{екв}}} = \frac{3}{3.8} = 0.8 \quad (3.15)$$

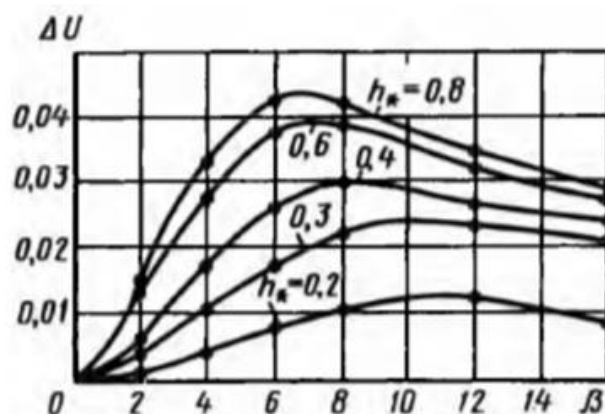


Рис. 3.9. Графіки залежності сигналів накладного ВСП, обумовлених дефектами

Абсолютне значення внесеної напруги від дефектну за годографом
рис. 3.9 $\Delta U = 0.04 \text{ В}$.

3.4 Розроблення структурної схеми вихрострумowego дефектоскопу

Структурна схема розробленого вихрострумowego дефектоскопу
наведена на рис.3.10.

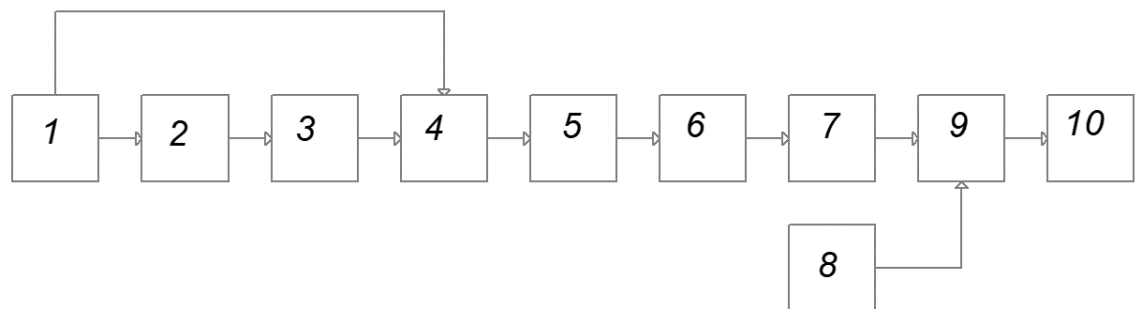


Рис. 3.10 Структурна схема ВСД

- 1 – Двофазний генератор сигналів.
- 2 – Вихрострумовой перетворювач (ВСП).
- 3 – Вимірювальний підсилювач.
- 4 – Суматор.
- 5 – Смуговий фільтр.
- 6 – Підсилювач .
- 7 – Амплітудний детектор.
- 8 – Джерело опорної напруги.
- 9 – Компаратор.
- 10 – Індикатор.

Двофазний генератор сигналів 1 – генерує сигнал потрібної амплітуди та частоти для живлення збуджуючої котушки ВСП 2. Напруга з вимірювальних котушок ВСП передається на вимірювальний підсилювач 3. Оскільки вимірювальні котушки підключені одна з одною диференційно на бездефектній ділянці на виході вимірювального підсилювача 3 напруга повинна дорівнювати нулю, але в дійсності неможливо виготовити абсолютно ідентичні вимірювальні котушки. Для компенсації різниці напруги на бездефектній ділянці використовуємо суматор 4, який додає сигнал з виходу вимірювального підсилювача до сигналу з другого виходу генератора. Цей сигнал регулюється за амплітудою і фазою на етапі підготовки приладу до роботи. Після суматора 4 сигнал надходить до смугового фільтру 5, який необхідний для зменшення рівня шуму та підвищення відношення сигнал/шум в аналізованому сигналі. У випадку наявності дефекту в робочій зоні ВСП на виході суматора присутня напруга від дефекту. Підсилення сигналу здійснюється підсилювачем 6. Напруга, пропорційна амплітудному значенню сигналу від дефекту формується амплітудним детектором 7. Блок 8 – це джерело опорної напруги за допомогою якого можна встановити пороговий (бракувальний) рівень сигналу для виявлення дефектів, які перевищують їх допустимі значення. Сигнали з амплітудного детектору та джерела опорної напруги порівнюються на компараторі 9 який формує та передає сигнал низького або високого рівня на індикатор 10. Цей сигнал свідчить про наявність дефекту в зоні клепаного з'єднання.

3.5 Опис та розрахунок основних елементів ВСД

Вимірювальний підсилювач – часто використовують у вимірювальній техніці. Його особливостями є: має малий температурний дрейф, малий внесок власного шуму в сигнал, можливе досягнення значного коефіцієнта підсилення та регулювання коефіцієнта підсилення за рахунок одного резистора. Такі підсилювачі використовують коли потребується висока довговічна стабільність схеми та при потребі значної точності виміру.

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

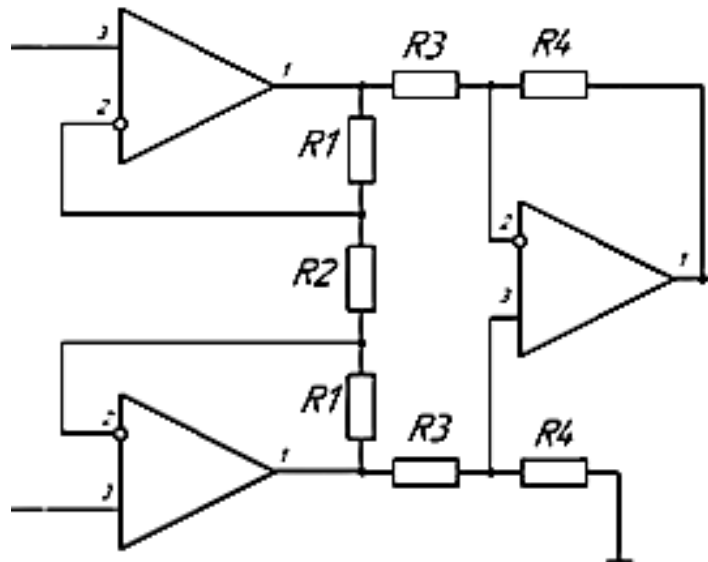


Рис. 3.11 Вимірювальний підсилювач

Для отримання більш сильного сигналу для його подальшої обробки, коефіцієнт підсилення повинен дорівнювати $K_{\pi} = 10$. Для цього потрібно підібрати номінали резисторів на рис. 3.11., таким чином щоб результат за формулою 3.16 дорівнював потрібному для нас коефіцієнту підсилення.

$$K_{\pi} = \left(1 + \frac{2 * R1}{R2}\right) * \frac{R4}{R3} \quad (3.16)$$

Номінали резисторів обираємо $R1 = 2 \text{ кОм}$, $R2 = 1 \text{ кОм}$, $R3 = 1 \text{ кОм}$, $R4 = 2 \text{ кОм}$. Перевіряємо за формулою 3.16 :

$$K_{\pi} = \left(1 + \frac{2 * 2000}{1000}\right) * \frac{2000}{1000} = 10$$

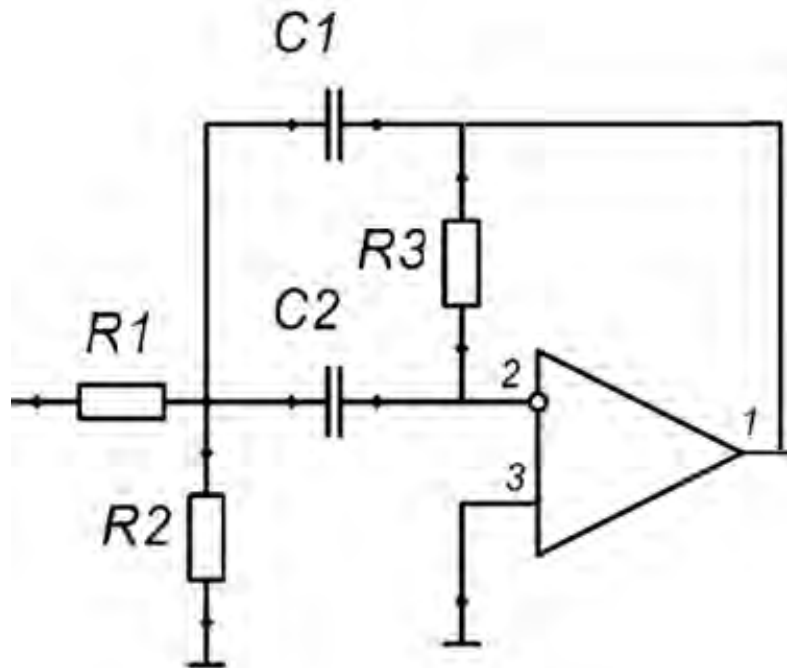


Рис. 3.12 Схема смугового фільтру

Смуговий фільтр рис. 3.12 – задача цього елементу в пропусканні корисного сигналу в діапазоні деякої частоти, за рахунок послаблення шумів за межами цього діапазону.

Встановимо оптимальні початкові параметри смугового фільтру :

Резонансна частота $f = 28950$ Гц;

Добротність $Q = 50$;

Коефіцієнт передачі $H = 1$;

Конденсатори $C = C1 = C2 = 10$ пФ;

Отже діапазон пропускання можна розрахувати за формулою:

$$f_{\text{мак}} - f_{\text{мін}} = \frac{f}{Q} = \frac{28950}{50} = 579 \text{ Гц} \quad (3.17)$$

Це означає, що $f_{\text{мін}} = 28660.5$ Гц, а $f_{\text{мак}} = 29239.5$ Гц.

Для обраних характеристик смугового фільтру розрахуємо опори резисторів R1, R2, R3 за наступними формулами:

$$R1 = \frac{Q}{H * \omega * C} \quad (3.18)$$

$$R2 = \frac{Q}{(2 * Q^2 - H) * \omega * C} \quad (3.19)$$

$$R3 = \frac{2 * Q}{\omega * C} \quad (3.20)$$

$$R1 = \frac{50}{1 * 2 * \pi * 28950 * 10 * 10^{-9}} = 27490 \text{ Ом}$$

$$R2 = \frac{50}{(2 * 50^2 - 1) * 2 * \pi * 28950 * 10 * 10^{-9}} = 5.5 \text{ Ом}$$

$$R3 = \frac{2 * 50}{2 * \pi * 28950 * 10 * 10^{-9}} = 54980 \text{ Ом}$$

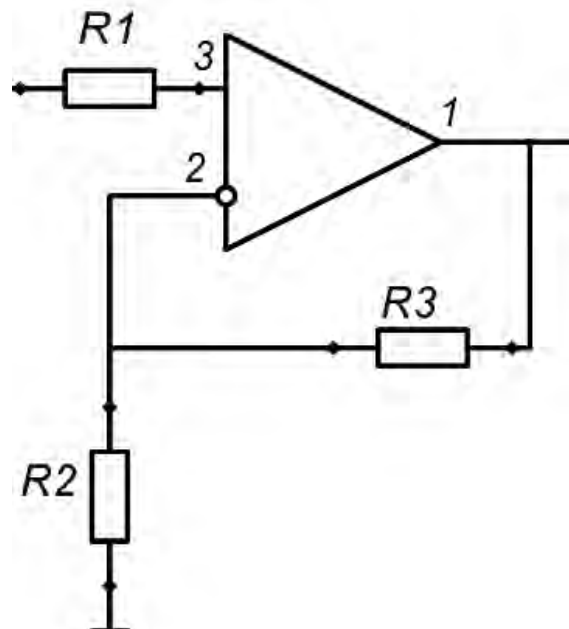


Рис. 3.13 Неінвертуючий підсилювач напруги сигналу

Коефіцієнт підсилення для неінвертуючого операційного підсилювача рис. 3.13 обираємо $K_{\pi} = 10$

Обираємо номінали резисторів рис. 3.13 $R1 = 1 \text{ кОм}$, $R3 = 10 \text{ кОм}$, $R2$ розраховуємо за формулою:

$$R2 = \frac{R1 * R3}{R1 + R3} = \frac{1000 * 10000}{1000 + 10000} = 909 \text{ Ом} \quad (3.21)$$

Перевіряємо коефіцієнт підсилення за наступною формулою:

$$K_{\pi} = \frac{R3}{R1} = \frac{10000}{1000} = 10 \quad (3.22)$$

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

За завданням дипломного проекту було розроблено вихрострумовий дефектоскоп клепаних з'єднань. Основною задачею даного ВСП є пошук, навколо клепаного з'єднання, дефектів типу тріщина з глибиною залягання 0.5 мм та розкриттям 20...30 мкм. В ході виконання дипломного проекту розраховано сигнали від дефектів для обраної конструкції вихрострумового перетворювача, обґрунтовано амплітудний метод опрацювання сигналів ВСП. Показано, що процес контролю доцільно проводити на частоті 28,95 кГц.

Розроблено перетворювач у вигляді накладного ВСП, який має феромагнітний сердечник та дві диференційно включені вимірювальні котушки. В дипломному проекті наведено розрахунок ВСП об'єкту контролю, результати розроблення електричних структурної, функціональної та принципової схем вихрострумового дефектоскопу і складальне креслення перетворювача.

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. Клюев В. В. Неруйнівий контроль / В. В. Клюев. – Москва: Машиностроение, 2003. – 688 с.
2. Заклепки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://mash-xxl.info/info/109981/>.
3. Клюев В. В. Методы и приборы вихретокового контроля промышленных изделий / В. В. Клюев, В. Г. Герасимов. – Москва: Энергоатиздат, 1983. – 242 с.
4. Учанін В. Н. Вихретоковые методы выявления дефектов в зоне заклепок многослойных авиационных конструкций / В. Н. Учанін. // Львов:Леотест-Медиум. – 2006. – №2. – С. 12.
5. Nondestructive Testing Handbook. Vol. 4: Electromagnetic Testing (Eddy current, flux leakage and Microwave Nondestructive Testing). Second edition. Edited by R. C. McMaster and P. McIntire. USA: American Society for NDT, 1986. – 677 p
6. Учанин В. Н., Цирг В. Н. Опыт применения низкочастотных вихретоковых дефектоскопов для выявления скрытых дефектов усталостного и коррозионного происхождения // Техн. диагностика и неразруш. контроль. – 1989. – № 4. – 75 с.
7. Выды заклепок [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://bouw.ru/term/zaklepki>.
8. Khurmi R.S. Applied Mechanics and Strength of Materials / Khurmi R.S.. – S. Chand and Company Ltd., 2010. – 78 с.
9. Румбешта В. Технологія складання, регулювання та випробування приладів / В.О. Румбешта. – Київ НТУУ „КПІ”, 2013. – 358 с.
- 10.Щербаков В.И. Электронные схемы на операционных усилителях / Щербаков В.И, Грездов Г.И.. – Київ: Техніка, 1983. – 214 с.
- 11.Куц, Ю. В. Экспериментальное исследование вихретоковой системы контроля крупногабаритных изделий / Ю. В. Куц, В. Ф. Петрик, Ю.

					<i>ПК51.08.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						52
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ю. Лысенко, А. Л. Дугин // Научни известия на НТСМ : материалы международной конференции «Дни НК 2013». – 2013. – № 2(139). – С. 72–75.

12. Протасов, А. Г. Метрологія, стандартизація та сертифікація в неруйнівному контролі [Електронний ресурс] : навчальний посібник з дисциплін «Метрологія» та «Сертифікація і стандартизація» / В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,04 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2015. – 266 с.

					ПК51.08.0000.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		